

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problems Mailbox.**

96-00437

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-135214

(43) 公開日 平成7年(1995)5月23日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	図3特記号	庁内整理番号	FI	技術表示箇所
H01L 21/322 29/78	L	8055-4M 8055-4M	H01L 29/78	321 S 321 W
審査請求 未請求 請求項の数 8 OL (全 7 頁)				

(21) 出願番号 特開平5-281548

(22) 出願日 平成5年(1993)11月11日

(71) 出願人 000006234

富士電機株式会社

神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号

(72) 発明者 小西 龍雄

神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号

富士電機株式会社内

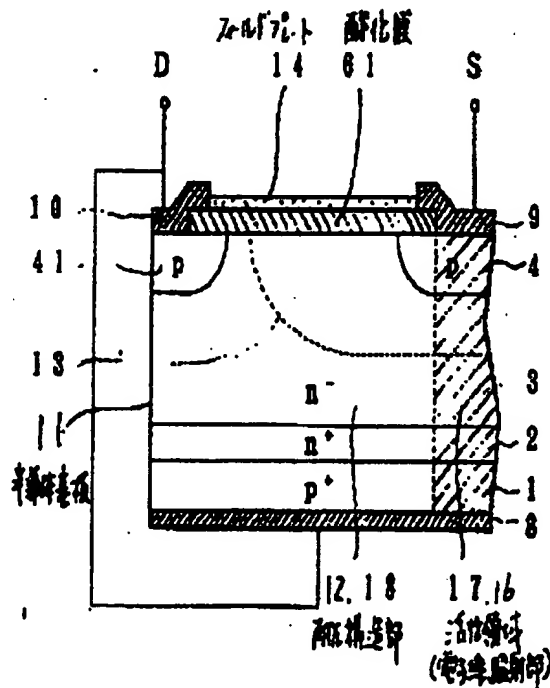
(74) 代理人 弁護士 山口 康

## (54) 【発明の名称】 半導体装置およびその製造方法

(57) 【要約】 (修正有)

【目的】 熱酸化膜の有る部分に、ライフタイム制御のために電子線照射を行うと、表面層のキャリア濃度に変動を生じ、変動層と変動しない層との界面で空乏層端に荷電が生じ、電界の集中が起こって耐圧が低下を防ぐ。

【構成】 主電流をスイッチングする活性領域17と、それを囲むフィールドプレートやガードリングのような耐圧構造部12とからなる半導体装置において、選択的に活性領域17に電子線を照射して、耐圧構造部12でのキャリア濃度変動を防ぐ。電子線を局部的に照射する方法と、蝕のような電子線阻止層のすぐれた金属マスクを使用する方法とがある。導通に係わる活性領域とこれを囲む耐圧構造部のうち、活性領域にのみ電子線照射してライフタイム制御することにより高速スイッチング素子の阻と耐圧劣化を防止する。



02-00437

(2)

特開平7-135214

#### 【特許請求の範囲】

【請求項1】 半導体基板の第一の主表面に、主電流の導通を担う活性領域と、この活性領域を囲む周辺部の耐圧構造部を有し、その耐圧構造部の少なくとも一部に酸化膜が有り、かつ電子線照射がなされたプレーナ型半導体装置において、選択的に活性領域に電子線を照射したことを特徴とする半導体装置。

【請求項2】 耐圧構造部の絶縁膜の上に抵抗性薄膜からなるフィールドプレートを用いた請求項1記載の半導体装置。

【請求項3】 耐圧構造部の絶縁膜の下にガードリング構造を用いた請求項1あるいは請求項2記載の半導体装置。

【請求項4】 選択的に活性領域に電子線を照射することを特徴とする請求項1ないし3のいずれかに記載の半導体装置の製造方法。

【請求項5】 電子線を偏向させる方法によって、選択的に活性領域に電子線を照射することを特徴とする請求項4記載の半導体装置の製造方法。

【請求項6】 照射する半導体基板を移動する方法によって、選択的に活性領域に電子線を照射することを特徴とする請求項4あるいは請求項5記載の半導体装置の製造方法。

【請求項7】 金属のマスクを使用することによって、選択的に活性領域に電子線を照射することを特徴とする請求項4ないし6のいずれかに記載の半導体装置の製造方法。

【請求項8】 マスクを構成する金属が鉛または鉛を主成分とするものであることを特徴とする請求項7に記載の半導体装置の製造方法。

#### 【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、ライフタイム制御のために電子線照射を行う工程を含むプレーナ型半導体装置およびその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 高耐圧のMOSFETや電圧変動型MOSFET（絶縁ゲート型バイポーラトランジスタ、以下IGBTと略す）は、インバータ、電源装置等の各種回路の電力用スイッチング素子として広く用いられている。特にIGBTは電圧駆動型のバイポーラ素子として注目を浴びている。図3に、IGBTの主電流の導通、遮断のスイッチング作用を担う活性領域の断面構造を示す。図は一つの制御電極を含む単位の部分であって、活性領域は極めて多数のこのような単位からなっている。図において、 $p^+$ ドレイン層1の上に $n^+$ バッファ層2を介して積層された $n^-$ ドリフト層3の表面層に選択的に $p$ ベース領域4が形成されている。その $p$ ベース領域4内に選択的に $n^+$ ソース領域5が形成され、 $p$ ベース領域4の $n^-$ ドリフト層3と $n^+$ ソース領域5に挟まれ

た部分の上に、ゲート酸化膜6を介して、多結晶シリコンからなりG溝子に接続されるゲート電極7が設けられている。また $p^+$ ドレイン層1に接続し、D溝子に接続されるドレイン電極8、 $n^+$ ソース領域5と $p$ ベース領域4に共通に接続しS溝子に接続されるソース電極9がそれぞれ設けられている。このようなIGBTの $n^-$ ドリフト層3は、 $p^+$ ドレイン層1とその上に積層された $n^+$ バッファ層2とからなるサブストレート上にエピタキシャル成長により形成される。また $p$ ベース領域4は、まず先に形成したゲート電極7をマスクとした不純物導入により形成され、 $n^+$ ソース領域5は図示されていないフォトレジストをマスクとしての不純物導入により形成される。ゲート電極7の上に、絶縁膜を介してソース電極9を延長させている例もある。

【0003】 図4(a)は、半導体素子のチップ15を多数形成した半導体基板11の平面図を示す。図4

(b)は、半導体素子のチップの例として、IGBTのチップ15を拡大した平面図を示す。ここではソース電極9が、絶縁膜を介してゲート電極の上まで延びて覆っているため、ゲート電極のパターンは見え、描いていない。ゲート電極に接続されたゲートパッド71がソース電極9に囲まれて、表面に露出している。半導体素子チップ15の最外周部には、ドレイン電極と等電位の外縁電極10が設けられていて、その下の $p$ 型の外縁領域41（後述）に接続している。ここでは以下耐圧構造部12は、ハッチングで示すようにソース電極9の周辺部の酸化膜の右端（または内縁で、図4(b)では点線で示す）から外縁電極10の最外周縁迄の部分とする。

【0004】 一方、IGBTにおいては、スイッチング（ターンオフ）時に数百〜数千Vの阻止能力が要求される。これを実現するために、幾つかの耐圧構造が用いられてきた。特にパワーMOSFETやIGBT等のように絶縁ゲート構造を有する半導体素子では、バイポーラトランジスタと比較して接合が浅くなるので、それに伴って新しい耐圧構造も用いられている。これらの中で基本的なものを二つ説明する。

【0005】 図5は、耐圧構造の一つでフィールドプレートといわれるものの構造を、図4(b)のA-A線に対応する位置の断面で示した。図で酸化膜61の右端の右側の半導体基板部分が活性領域で、素子チップ15の中央部分に、反対の左側が素子チップ15の周辺部にあたる。S溝子に対してD溝子に正の電圧が印加されると、 $p$ ベース領域4と $n^-$ ドリフト層3との間の接合が逆バイアスされるので、層を13で示す空乏層が広がる。空乏層は $p$ ベース領域4の内部にも広がるが、その量は僅かなので図では省略した。フィールドプレート14は、例えば多結晶シリコンからなる抵抗性薄膜であって、ソース電極9と $p$ 外縁領域41上に形成された外縁電極10とを数千人以上の厚い熱酸化膜61上で連結している。これにより、S、D溝子間に印加される電圧

96-00437

(3)

特開平7-135214

が、酸化膜61を介してp領域4とp領域41の間の半導体基板11に対し均等に分布される。従って、通部を13で示す空乏層はフィールドプレート14の下でも広がり易くなり、曲率も緩やかになって空乏層の形状は平面に近づき、阻止電圧が大きくなる。

【0006】図6は、もう一つの耐圧構造であるガードリングと呼ばれるものの構造を、図4(b)のA-A線に対応する位置の断面で示した。素子チップ15の周辺部でガードリングと呼ばれるp領域21、22、23の帯が図の右側のpベース領域4とさらに右側のゲート領域(図示せず)を含む活性領域を囲むようにしたものである。この例でもp領域4上の酸化膜61の右端の右側が活性領域で、そのp領域4上のS端子に対して、最周辺部のp領域41上のD端子に正のバイアスを印加するものとする。ガードリングは電位的にはフローティング状態になっている。D、S端子に電圧が印加されると空乏層がpベース領域4とn<sup>-</sup>ドリフト層3との間の接合から外側へ広がって行き、第一のガードリング21に達する。空乏層は第一のガードリング21の内側には広がらず、その先まで一気に到達する。更に電圧を印加していくと、空乏層はさらに広がって第二のガードリング22の先に達する。更に印加電圧を上げると空乏層はさらに第三のガードリング23の先まで広がる。このように周辺部に向かって空乏層端13が伸び、前述のフィールドプレートの場合と同様に耐圧を上げることができる。

【0007】これらの耐圧構造は、単独あるいはこれらの組み合わせにより、最適な構造で用いられる。これらの高耐圧スイッチング素子は、通常のスイッチング損失を極力少なくすることが望ましい。特に高周波用ではその損失を少なくすることが必須であり、そのために必要なキャリアのライフタイムを得る目的で、半導体素子の主な接合構造等を形成したのちに、電子線照射や重金属の拡散などによるライフタイム制御を行う。これは良く知られているように、電子線照射により誘起される欠陥やシリコン中に拡散された重金属が、シリコンのバンドギャップ中に深い不純物準位を形成するので、それらをキャリアの再結合中心として利用して、ライフタイムを所望の値に制御しようとするものである。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、このライフタイムを制御する手段の中で電子線照射法では、MeV(メガエレクトロンボルト)オーダーのレベルの電子線照射を行うことによって、酸化膜が帯電するために生ずる酸化膜下のチャンネル形成のしきい値の変化の他に、シリコンと熱酸化膜との界面現象に起因すると思われるシリコン表面のキャリア濃度変化の生ずることが新たに確認された。図5、図6では電子線照射前の、いわば理想的な空乏層の広がりを示したが、実際に照射を行ったあとでは様子が変わっていた。その様子を図7に示す。熱酸化による酸化膜61を介して半導体基板11に

電子線照射を行うと、酸化膜の下で15~20μm程度の深さでキャリア濃度の増加が見られ、一点線線で示すキャリア濃度変化層31が形成されるというものである。キャリア濃度的には、例えばn<sup>-</sup>ドリフト層3の不純物元素が磷(P)でその濃度が約 $5 \times 10^{15}/\text{cm}^3$ の場合、照射後には表面でキャリア濃度が約 $1 \times 10^{14}/\text{cm}^3$ に増加する。図8に電子線照射量と比抵抗変化との関係を示す。照射量が増すほど比抵抗が小さくなっている。すなわち、キャリア濃度が増していることがわかる。この現象は、特に厚い酸化膜(1000Å以上)を形成した箇所の下において顕著であり、形成されるキャリア濃度変化層の厚さも約20μmに達する。言い換えると、前記の耐圧構造に用いられている数千人以上の厚い熱酸化膜61の下で顕著に見られるため、電圧印加時のその部分での空乏層の広がり方に問題が生ずる。図7のn<sup>-</sup>ドリフト層3とpベース層4との間の接合の逆バイアスの程度に応じて広がっていく空乏層端を順に131、132、133で示した。表面でのキャリア濃度の高い領域31と、それより深く、濃度の低いn<sup>-</sup>ドリフト層3本来の領域との境界において、空乏層端132、133に見られるように異常な湾曲を生じることになる。その結果、理想的な接合の降伏が起こる前に、この湾曲部での電界集中により素子が破壊するという問題がある。図は、フィールドプレート構造の例で示したが、ガードリング構造のものでも同様であり、またIGBT、MOSFET或いはバイポーラトランジスタのみならず、他の耐圧構造を有するダイオード等にも当てはまることである。

【0009】以上の問題に鑑みて、本発明の課題は、電子線照射によるライフタイム制御が行われる半導体素子の、素子耐圧を決定するような場所の中で特に厚い熱酸化膜を有する領域下において、局部的な電界集中を起こすことなく、耐圧性能を向上させることが可能な半導体装置およびその製造方法を提供することにある。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記の問題を解決するために、本発明においては、活性領域を囲む耐圧構造部の少なくとも一部に、厚い熱酸化膜を有し、電子線照射がされた半導体装置において、半導体素子の活性領域にのみ電子線を照射し、耐圧構造部への照射を避けるものとする。

【0011】耐圧構造部の第一導電型層の上の酸化膜上に抵抗性薄膜からなるフィールドプレートを備えたもの或いは酸化膜の下に第二導電型のガードリングを備えたものにも適用できる。このような半導体装置の製造方法としては、選択的に電子線照射を行う。例えば電子線の走査方法として、電子線照射装置の偏向装置を工夫して、電子線を選択的に活性領域に照射することができ、同時に或いは単独に、照射する半導体を一次的、二次的に移動する方法も考えられる。

96-00437

特開平7-135214

(4)

【0012】また、適当な形状の電子線を阻止する能力の高い金属材料等でマスクすることにより、選択的な照射が可能である。

【0013】

【作用】酸化膜を通して半導体基板に電子線照射を行うと、半導体基板表面層にキャリア濃度変化が生ずることは、理論的には解明されていないが、熱酸化膜に特有の現象である。また特に厚い熱酸化膜（1000Å以上）を用いた箇所において顕著であり、生成されるキャリア濃度変化層の厚みも増す。そこで半導体基板の活性領域にのみ選択的に電子線照射を行い、耐圧構造部へは照射しないようにするか、或いは耐圧構造部への照射をできるだけ低減することによって、半導体基板表面層のキャリア濃度変化が抑えられる。従って、電圧印加時に接合が逆バイアスされて空乏層が広がった時も、その先端の形状は滑らかであり、異常な湾曲を生ずるといった問題はもはや生じない。すなわち、局所的な電界集中による耐圧劣化が無く、素子本来の阻止能力が十分に發揮されることになる。

【0014】

【実施例】以下、前述の図3ないし図6と共通の部分に同一の符号を付した図を引用して本発明の実施例について述べる。図1は、本発明の一実施例にかかるプレーナ型半導体素子であって、フィールドプレートを有するIGBTの、図4(b) A-A線に対応する位置の断面を示す。n<sup>+</sup>ドリフト層3に深い拡散を行ってpベース層4を形成するとき、初期の段階で形成した数千Å以上の厚い熱酸化膜61をマスクにしてホウ素のイオン注入を行う手法が用いられており、この厚い熱酸化膜61をそのままフィールドプレート14下の絶縁膜として利用している。従来は素子チップの最周辺部のp領域41を含む耐圧構造部12、酸化膜61の右側の活性領域16ともに電子線照射を行ったので、耐圧構造部12の厚い熱酸化膜61の下で半導体基板表面に抵抗変化層を生じた。図1に示す構造では、電子線照射を右側の活性領域16に限定した。従って右側の基板断面にハッチングを施した活性領域16の部分が電子線照射部17、その反対の左側が非照射部18である。左側の耐圧構造部12においては電子線照射が行われず、半導体基板表面に抵抗変化層を生じていない。従って、電圧印加時の空乏層端13の形状は滑らかで、電界の集中を生じるといった湾曲はできていない。この結果、半導体装置の阻止耐圧は、従来に比べ約15%向上した。電子線照射を活性領域16に限定するといっても、実際には活性領域に照射した電子線の一部が、半導体基板内部での散乱のため、耐圧構造部12に入り込むことが考えられる。しかしその量は僅かで素子特性に影響するほどではない。

【0015】図2は、ガードリングを有するIGBTにおける本発明の実施例を、図4(b)のA-A線に対応する位置の断面で示した。この図においても図1の実施

例と同様に右側の活性領域16にのみ、選択的に電子線を照射している。この場合も右側の基板断面にハッチングされた部分が電子線照射部17、その左側が非照射部18である。左側の耐圧構造部12に厚い熱酸化膜が有っても、半導体基板表面に抵抗変化層を生じない。従って、電圧を印加したときも空乏層端13の形状は滑らかで、異常な湾曲は生じない。

【0016】図9は、電子線の選択的な照射方法の一実施例として電子線照射装置の原理的な構成を示す図である。例えば加熱したフィラメントのような電子線源52から、電子を発生させ、加速電極53で加速する。電子線51を適当な大きさのビームに絞る電磁レンズ54の後段に、偏向電極55を設けこれに電圧を加えることにより、電子線51を偏向させ試料台56上に置かれた半導体基板11に走査しながら照射することができる。図では偏向電極を二つだけ示した。この場合は一次元的な走査を行うが、偏向電極を四つ設けて電子線を二次元的に走査できるようにしてもよい。電子線を放出、停止しながら走査することにより、半導体基板11の必要な部分のみに選択的に照射することが出来る。照射する半導体基板11の内外に走査することで、電子線の放出、停止に代えることができるし、またシャッターを使用して放出、停止をさせることも出来る。試料台56は一次元または二次元に移動可能にできるので、電子線の走査と同時に或いは別に、半導体基板11を一次元的または二次元的に移動させてもよい。これらを適宜組み合わせ、活性領域にのみ選択的に照射することができる。さらにこれらを含めプログラムした装置を加えることによって、自動化できる。

【0017】図10は、電子線の選択的な照射方法の、別の実施例を示すものである。半導体基板11の直上に、電子線51を部分的に遮蔽するための金属材料のマスク81を置いて照射する。図11に、図4(a)のように半導体素子のチップ15を多数形成した半導体基板に対応した金属マスクをハッチングで示す。活性領域に対応する部分に窓82が開いていて、活性領域16には電子線が照射されるのに対し、耐圧構造部12は、ハッチング部分の金属マスクで遮蔽されるため電子線照射されない。但し、金属マスクでも僅かな電子線は透過するし、また、さきに述べた散乱現象のため、耐圧構造部にも僅かな電子線照射は起きるが、その量は僅かで実用には問題ない。

【0018】金属マスクに透過する材料は、電子線を遮蔽する能力が高く、シリコン中に不純物単位を作らないものがよい。電子線を遮蔽する能力は、ほぼ密度に比例するので、密度が11と大きく、4族の元素である鉛が適している。MeVオーダーの電子線の強度は、約1mmの鉛で半減するので、厚さ2mm程度の鉛のマスクを用いれば、遮蔽効果は十分である。

【0019】

00437

特開平7-135214

(5)

【発明の効果】本発明によれば、熱酸化膜を有する半導体基板に電子線を照射した場合に見られる、基板表面層のキャリア濃度変動を、活性領域への電子線の選択的な照射によって、回避できることが明らかになった。すなわち、耐圧構造部には、電子線照射を行わないので薄い熱酸化膜があっても、キャリア濃度変動層は生じない。この結果、接合を逆バイアスした時の空乏層の広がりは、滑らかで、従来のように空乏層端が湾曲して電界の集中を引き起こすようなことはなく、阻止状態での電界の局部集中による耐圧劣化を防止できた。先に記載したように、本発明を実施したIGBTの例では阻止耐圧が約15%も向上した。このように従来の素子の問題点は解決され、IGBTやMOSFET等の高耐圧のパワースイッチング素子の耐圧の著しい向上が見られる。

【0020】この発明は、耐圧構造としてフィールドプレート構造のものでも、ガードリング構造のものでも有効である。他の耐圧構造でも、耐圧構造部に熱酸化膜が有り、電子線照射を行うものには有効である。また対象となる半導体装置は、IGBT、MOSFET、バイポーラトランジスタさらにはダイオードのようなディスクリート素子に限らず、周縁部に耐圧構造を有する複合素子にも有効である。

【0021】この発明の製造方法としては、新しい工程を加える必要は無く、従来の装置に加える改造も、僅かである。電子線の発生のための偏向装置および照射試料の移動装置は、通常の電子線照射装置に付いているものもあり、これらを利用して選択的に照射することは容易である。更に自動化も、照射範囲を定めるプログラムを付加すればよい。照射範囲を限定することによって、一素子当たりの照射時間が短くなり、単位時間当たりの製造量が増すという、利点がある。これにより素子コストの低減が可能になる。

【0022】マスクを使用する方法は、従来の照射を行っていた装置で、照射する半導体基板上にマスクを置くだけであり、製造工程の大きな変更は必要でなく、容易に実施しうる。マスクの材料の給は、ごくありふれた材料であって安価であり、形状も単純な形状なので、加工に要する費用も多くはない。

【0023】以上のように、本発明による改良をくわえることにより、阻止特性の改善という効果は、顕著なものである。念のため付け加えると、耐圧構造部は活性領域と違って、電流のスウィッチングを行わないので、キャリアライフタイムが短い必要はなく、従って電子線照射を行わなくても悪影響は無い。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例のIGBTの図4(b)A-A線矢視断面に対応する部分の断面図

【図2】本発明の別の実施例のIGBTの図4(b)A-A線矢視断面に対応する部分の断面図

【図3】一般的なIGBTの素子構造を示す要部断面図

【図4】(a)は半導体基板全面のの平面図、(b)は半導体基板内のIGBTのチップの拡大平面図

【図5】従来のIGBTのフィールドプレート構造を示す図4(b)のA-A線矢視断面に対応する部分の断面図

【図6】従来のIGBTのガードリング構造を示す図4(b)のA-A線矢視断面に対応する部分の断面図

【図7】従来のIGBTにおける電子線照射の影響を示す図4(b)のA-A線矢視断面に対応する部分の断面図

【図8】従来のIGBTにおける電子線照射量と比抵抗変化の関係を示す図

【図9】本発明の電子線照射のための装置の構成図

【図10】本発明の金属マスクによる選択照射の図

【図11】本発明の選択照射のための金属マスクの図

【符号の説明】

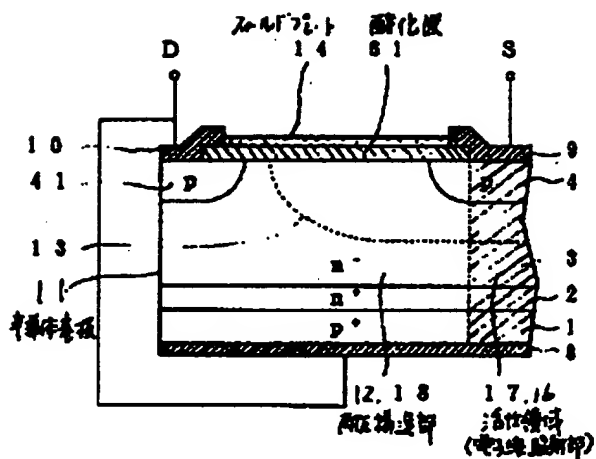
- 1 p<sup>+</sup>ドレイン層
- 2 n<sup>+</sup>バッファ層
- 3 n<sup>-</sup>ドリフト層
- 4 pベース領域
- 41 p外縁領域
- 5 n<sup>+</sup>ソース領域
- 6 ゲート酸化膜
- 61 熱酸化膜
- 7 ゲート電極
- 71 ゲートパッド
- 8 ドレイン電極
- 9 ソース電極
- 10 外縁電極
- 11 半導体基板
- 12 耐圧構造部
- 13 空乏層端
- 131、132、133 印加電圧増大時の空乏層端
- 14 フィールドプレート
- 15 半導体素子のチップ
- 16 活性領域
- 17 電子線照射部
- 18 電子線非照射部
- 21、22、23 pガードリング
- 31 キャリア濃度変化層
- 51 電子線
- 52 電子線源
- 53 加速電極
- 54 電圧レンズ
- 55 偏向電極
- 56 試料台
- 81 マスク
- 82 窓

96-00437

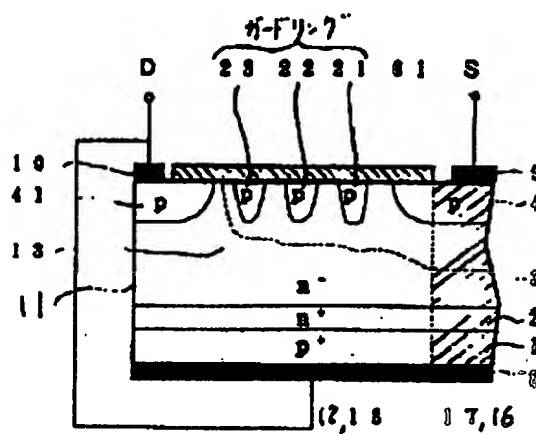
(6)

特開平7-135214

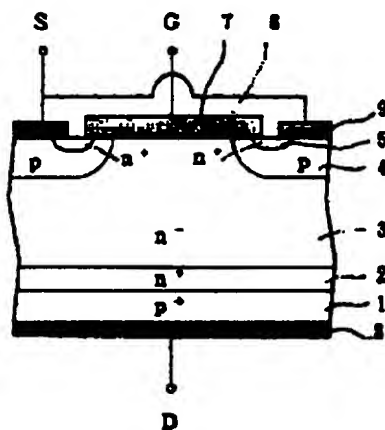
【図1】



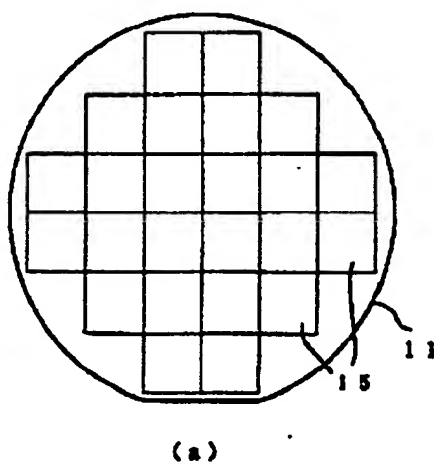
【図2】



【図3】



【図4】



【図5】

